不同饲粮组成对泌乳荷斯坦奶牛的产奶性能、血液生化指标及氮磷排放量的影响

赵若含　李　莲　韩兆玉　杨方晓　王根林*

（南京农业大学动物科技学院，南京 210095）

摘　要:本试验研究了减少饲粮氮磷水平或使用复合添加剂对泌乳荷斯坦奶牛的产奶性能、血液生化指标及氮磷排放量的影响，旨在不影响生产性能的前提下减少奶牛粪尿中氮磷的排放量。采用配对试验设计，将 36 头泌乳荷斯坦奶牛分为 3 组，每组 12 头，分别为对照（CR）(原奶牛场配方饲粮）、低氮和磷（LPP）组[原奶牛场配方饲粮减少 0.70%的氮（粗蛋白质）、0.03%的磷]、复合添加剂（CA）组[原奶牛场配方饲粮+复合添加剂（由活性酵母、酶制剂和有机锌混合组成）]。预试期 7 d，正试期 30 d。测定产奶量、乳成分、血液生化指标及氮磷排放量。结果表明：各组产奶量、干物质采食量、乳成分无显著差异（$P>0.05$）；LPP 组与 CR 组相比，酸性洗涤纤维、磷的表观消化率分别提高了 73.12%、42.94%（$P<0.05$）；与 CR 组相比，LPP 组总氮、总磷排放量分别降低了 9.11%和 26.34%（$P<0.05$），CA 组分别降低了 16.35%和 16.10%（$P<0.05$）；LPP 组与 CR 组之间血液生化指标差异不显著（$P>0.05$），CA 组的血液谷丙转氨酶（ALT）活性和磷含量显著高于 CR 组（$P<0.05$）。结果提示，在满足正常营养需求的情况下，适当控制奶牛氮磷摄入量和使用复合添加剂均能降低氮磷的排放量。

关键词：泌乳荷斯坦牛；产奶性能；血液生化指标；氮磷排放量

中图分类号：S823

随着规模化养殖的快速发展，畜禽养殖产生的废弃物对环境的危害越来越受到重视，其中由于氮、磷排放所造成的污染尤为突出[1]。以 2015 年为例，我国奶牛存栏数约为 1 507.2 万头，约产生 12 亿 t 的奶牛粪便、污水、垫料和饲料残渣等废弃物。其中奶牛的粪尿对环境带来的负面影响是越来越大，而粪尿中氮磷的排放量尤为令人关注。由于氮磷是动物生长、发育和生产过程中所需的重要营养元素，适量的氮、磷在维持奶牛生产性能和繁殖性能方面发挥着重要作用[2]。但如果为了提高奶牛的产奶量，在饲粮配方中盲目增加蛋白质、忽略磷

收稿日期：2017-11-29

基金项目：南京市生态循环农业项目（NYSTXH[2016]3）

作者简介：赵若含（1993—），女，云南曲靖人，硕士研究生，从事反刍动物营养研究。E-mail: 1027261505@qq.com

*通信作者：王根林，教授，博士生导师，E-mail: glwang@njau.edu.cn

的利用效率，从而导致饲料中的蛋白质和磷没有最大化地被利用，那么这就增加了动物粪便中氮磷的排放量。

研究表明，我国奶牛氮磷平均利用效率只有10%~22%，远低于美国、澳大利亚、新西兰等国的平均水平19%~35%[3]。其中乳尿素氮（MUN）仅占采食氮的25%~35%，其他剩余的氮则通过尿液和粪便排放[4]。磷主要是通过粪便途径排放体外，粪磷占总磷排放量的68.7%，尿磷排放量的较少，只占总磷排放量的1%，而其他30.3%的磷被奶牛利用，从上述数据可见粪便中磷的排放量较大[5]。这些过量的氮磷排放到环境中，本身对饲料是一种浪费，并且也严重污染了环境和水源。因此，本试验在不影响奶牛生产性能的前提下，通过降低饲粮氮磷水平和饲喂复合添加剂2种营养措施，从而降低氮磷的排放，为实现奶牛业的健康可持续发展提供技术参考。

1　材料与方法

1.1　试验时间及地点

本试验于2017年2-4月进行，试验地点设在江苏省宿迁市卫岗乳业沭阳奶源基地。

1.2　试验材料与试验设计

根据年龄、胎次、泌乳期和产奶量相近的原则，采用配对试验设计，将健康无疾病的中国荷斯坦牛36头，随机分为3组，每组12头。试验期共37 d，包括预试期7 d，正试期30 d。对照（CR）组：饲喂原奶牛场配方饲粮；低氮和磷（LPP）组：在原奶牛场配方饲粮基础上减少0.70%的氮（粗蛋白质）和0.03%的磷，调整是通过采用甜菜粕部分替代干酒糟及其可溶物（DDGS）来实现的；复合添加剂（CA）组：在CR组饲粮中添加复合添加剂（由活性酵母、酶制剂和有机锌混合组成），复合添加剂饲喂方式为：每日10 g复合添加剂和90 g玉米粉混合均匀添加到饲粮中。

1.3　试验饲粮与饲养管理

试验饲粮组成及营养水平见表1。试验奶牛采用拴系式饲养，每日分别于06：00、13：00和20：00饲喂3次，每天的剩料量控制在5%以下。采用管道式挤奶设备日挤奶3次，自由饮水，常规光照，保持圈舍清洁干燥。

表1　试验饲粮组成及其营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)　　%

项目	组别 Groups

Items	CR	LPP	CA
原料 Ingredients			
青贮玉米 Silage corn	23.25	23.24	23.25
苜蓿干草 Alfalfa hay	12.89	12.89	12.89
甜菜粕 Beet pulp	8.50	11.74	8.50
干酒糟及其可溶物 DDGS	6.52	3.30	6.52
全棉籽 Whole cottonseed	6.50	6.49	6.50
玉米 Corn	27.52	27.52	27.52
豆粕 Soybean meal	11.64	11.64	11.64
预混料 Premix	3.18	3.18	3.18
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels			
干物质 DM	21.06	21.06	21.06
粗蛋白质 CP	16.20	15.49	16.20
中性洗涤纤维 NDF	28.81	32.19	28.81
物理有效中性洗涤纤维 peNDF	25.87	26.24	25.87
酸性洗涤纤维 ADF	17.52	19.10	17.52
粗灰分 Ash	6.71	6.78	6.71
钙 Ca	1.16	1.14	1.16
磷 P	0.42	0.39	0.42

每千克复合预混料含有 One kg of premix contained the following：VA 500 000 IU，VD_3 140 000 IU，VE 2 000 000 IU，Cu 2 200 mg，Fe 4 000 mg，Mn 2 400 mg，Zn 5 600 mg，I 80 mg，Se 35 mg，Co 20 mg。

1.4 采样及样品分析

1.4.1 饲粮样采集及分析

正试期采用封口袋收集饲粮样及剩料样，收集方法参照张丽英[6]主编的《饲料分析及饲料质量检测技术》。饲粮样采集后在 65 ℃烘箱中烘 48 h，制成风干样，并测定试验饲粮中干物质、粗蛋白质、磷、钙、酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维、粗灰分含量。其中粗蛋白质含量测定采用凯氏定氮法，中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量测定采用 Van Soest 洗涤纤维法，钙含量测定采用高锰酸钾滴定法，磷含量测定采用钒钼酸氨比色法，粗灰分含量测定采用粗灰分法。各营养物质的表观消化率采用内源指示剂法(4 mol/L 盐酸不溶灰分)测定，计算公式[6]如下：

$$饲粮营养物质养分消化率（\%）=［1-(b/a)\times(c/d)］\times100。$$

式中：a 为饲粮中某营养成分的含量（%）；b 为粪便中某营养成分的含量（%）；c 为饲粮中盐酸不溶灰分的含量（%）；d 为粪中盐酸不溶灰分的含量（%）。

物理有效中性洗涤纤维（peNDF）含量测定采用 PSPS 筛，计算公式[7]如下：

peNDF（%）=$pef_{1.18}$×饲粮的中性洗涤纤维含量。

式中：$pef_{1.18}$为饲粮的物理有效因子，其值等于每层筛子（共 3 层，筛网孔径分别为 1.18、8.00 和 19.00 mm）筛上物的干物质占总干物质的比例之和。

1.4.2　粪样采集及分析

在正试期的第 10、20 和 30 天时采集每头牛的新鲜粪便，每头牛在早中晚喂料前用采集勺采集 100 g 左右的鲜粪，最后将鲜粪进行混匀，并取 2 部分粪样。一部分粪样加入 10%硫酸（每 100 g 粪中加入 20 mL），供测定粪氮排放量；另一部分粪样在 65 ℃的烘箱中干燥 48 h 后，置于空气中冷却至室温再粉碎过 40 目筛，混匀放入冰箱中冷冻，备用供测定其他营养成分。日排粪量估算参照李国林[8]的方法。

1.4.3　尿样采集及分析

收集粪样同时用收集容器收集尿样，尿样中会有杂质，用粗纱布过滤后放入干燥洁净的 50 mL 试管中，将每头牛早、中、晚采集的尿液进行混匀，最后每头牛取 30 mL，并在每管中加入 1:1 的 10%硫酸固氮，密封，置于-20 ℃下保存，备测，测定时先恢复到常温再取样测定尿氮和尿磷排放量。其中尿氮排放量采用凯氏定氮法，尿磷排放量采用钼酸铵分光光度法[6]。日排尿量估算参照李国林[8]的方法。

1.4.4　奶样采集及分析

正试期每 7 d 测定 1 d 的产奶量并收集中午的奶样。奶样中加入重铬酸钾防腐剂（0.6 mg/mL）混合均匀，于 4 ℃冷藏，用于乳成分检测。用乳成分自动分析仪(CombiFoss FT$^+$，丹麦 Foss 公司)测定乳蛋白率、乳脂率、乳糖率、乳总固形物含量、MUN 含量及乳体细胞数，采用加权平均法计算正试期乳成分含量。计算 4%标准乳产量。

饲料转化率=4%标准乳产量/干物质采食量；

脂蛋比=乳脂率/乳蛋白率。

1.4.5　血液样采集及分析

在正试期第 1 天和结束后第 1 天分别尾静脉采血 5 mL，血液样品经 3 000×g 离心 15 min 后，分离血清，-20 ℃保存。血液生化指标包括：总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、球蛋白（GLB）、葡萄糖（GLU）、尿素氮（UN）、胰岛素（INS）、催乳素（PRL）、总胆固醇（TC）、甘油三酯（TG）、磷含量及谷丙转氨酶（ALT）活性。其中，TP、ALB、GLB、GLU、UN、TC、

TG 含量及 ALT 活性采用全自动生化分析仪（日立 7600，日本）测定，INS、PRL 含量采用放射免疫法测定，试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.5　数据统计分析

所有试验数据采用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析和回归分析，多重比较采用 Duncan 氏法进行比较。试验结果以“平均值±标准误”表示，差异显著性判断标准为 $P<0.05$。

2　结　果

2.1　不同饲粮组成对泌乳荷斯坦奶牛生产性能的影响

由表 2 可知，3 种不同饲粮组成对奶牛的产奶量、干物质采食量、乳成分无显著影响（$P>0.05$）。从数值上看，与 CR 组相比，LPP 组和 CA 组的产奶量和 4%标准乳产量有一定程度的增加；同时，LPP 组和 CA 组乳体细胞数有所降低。

表 2　不同饲粮组成对泌乳荷斯坦奶牛生产性能的影响

Table 2　Effects of different dietary compositions on production performance of lactating Holstein cows

项目 Items	组别 Groups			SEM	*P* 值 *P*-value
	CR	LPP	CA		
产奶量 Milk yield/（kg/d）	29.82±7.22	31.92±4.89	32.89±7.33	1.09	0.51
干物质采食量 DMI/（kg/d）	21.88±0.48	19.93±0.75	20.24±0.69	0.39	0.09
乳脂率 Milk fat percentage/%	4.42±0.71	3.97±0.47	4.05±0.67	0.11	0.18
乳蛋白率 Milk protein percentage/%	3.65±0.45	3.42±0.34	3.48±0.27	0.06	0.29
乳糖率 Lactose percentage/%	4.97±0.20	4.94±0.20	5.03±0.18	0.03	0.49
乳总固形物含量 Milk TS content/%	13.57±1.06	12.71±0.82	13.11±0.85	0.16	0.09
脂蛋比 FPR	1.21±0.12	1.16±0.11	1.16±0.16	0.02	0.53
4%标准乳产量 4%FCM/（kg/d）	31.29±1.70	31.72±1.45	32.76±5.36	0.88	0.79
饲料转化率 Feed efficiency	1.44±0.09	1.60±0.08	1.64±0.09	0.05	0.22
乳体细胞数 Milk SCC/（$\times 10^4$ 个/mL）	69.12±72.02	23.50±25.70	57.48±72.57	10.38	0.18

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），不同大写字母表示差异极显著（$P<0.01$）。下表同。

In the same row, values with no or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$). The same as below.

2.2　不同饲粮组成对泌乳荷斯坦奶牛养分表观消化率的影响

由表 3 可知，不同饲粮组成对奶牛的粗蛋白质和中性洗涤纤维的表观消化率均无显著影响（$P>0.05$），同时 CA 组的酸性洗涤纤维和磷的表观消化率与 CR 组相比差异不显著

（P>0.05）。LPP 组与 CR 组相比，酸性洗涤纤维的表观消化率提高了 73.12%（P<0.05），磷表观消化率提高了 42.94%（P<0.05）。

表 3　不同组成饲粮对泌乳荷斯坦奶牛养分表观消化率的影响

Table 3　Effects of different dietary compositions on apparent digestibility of nutrients of lactating Holstein cows

项目 Items	组别 Groups			SEM	P 值 P-value
	CR	LPP	CA		
粗蛋白质 CP/%	67.24±3.74	70.43±3.00	69.02±3.46	0.68	0.16
中性洗涤纤维 NDF/%	49.75±7.82	56.58±8.24	50.89±9.61	1.69	0.22
酸性洗涤纤维 ADF/%	24.44±11.58[a]	42.31±9.40[b]	24.27±10.45[a]	2.56	<0.01
磷 Phosphorus/%	32.95±7.42[a]	47.10±7.51[b]	38.75±8.74[a]	1.85	<0.01

2.3　不同饲粮组成对泌乳荷斯坦奶牛氮排放量的影响

由表 4 可知，LPP 组采食氮较 CR 组降低了 12.88%（P<0.05），CA 组与 CR 组差异不显著（P>0.05）；不同饲粮组成对粪氮排放量无显著影响（P>0.05）；LPP 组和 CA 组的尿氮排放量较 CR 组分别降低了 13.24%、23.60%（P<0.05）；3 组之间氮的利用率无显著差异（P>0.05）；LPP 组和 CA 组的总氮排放量较 CR 组分别降低了 9.11%、16.35%（P<0.05）。

表 4　不同饲粮组成对泌乳荷斯坦奶牛氮排放量的影响

Table 4　Effects of different dietary compositions on nitrogen emission of lactating Holstein cows

项目 Items	组别 Groups			SEM	P 值 P-value
	CR	LPP	CA		
采食氮 N intake/（g/d）	567.02±12.44[a]	493.98±18.56[b]	524.68±17.89[ab]	10.56	0.01
粪氮 Feces N/（g/d）	97.29±0.85	97.13±0.74	96.68±0.96	0.48	0.88
尿氮 Urine N/（g/d）	211.02±10.58[a]	183.08±7.99[b]	161.21±5.47[b]	5.46	<0.01
乳尿素氮 MUN/（g/d）	170.84±8.48	174.87±9.30	181.43±9.33	5.13	0.71
氮的利用率 N utilization/%	0.46±0.02	0.43±0.02	0.50±0.02	0.01	0.03
总氮排放量 Total N excretion/（g/d）	308.31±10.88[a]	280.21±8.33[b]	257.89±5.80[b]	5.63	<0.01

2.4　不同饲粮组成对泌乳荷斯坦奶牛磷排放量的影响

由表 5 可知，LPP 组采食磷较 CR 组降低了 15.40%（P<0.05），CA 组较 CR 组差异不显著（P>0.05）；LPP 组和 CA 组的粪磷排放量较 CR 组分别降低了 26.40%、16.19%（P<0.05）；与 CR 组相比，其 2 组尿磷排放量无显著变化（P>0.05）；各组之间磷的利用率无显著差异（P>0.05）；LPP 组和 CA 组的总磷排放量较 CR 组分别降低了 26.34%、16.10%（P<0.05）。

表 5　不同饲粮组成对泌乳荷斯坦奶牛磷排放量的影响

Table 5　Effects of different dietary compositions on emission of phosphorus of lactating Holstein cows

项目 Items	组别 Groups			SEM	*P* 值 *P*-value
	CR	LPP	CA		
采食磷 P intake/（g/d）	91.88±2.02[a]	77.73±2.92[b]	85.02±2.90[ab]	1.78	<0.01
粪磷 Feces P/（g/d）	55.65±2.83[a]	40.96±1.79[b]	46.64±1.91[b]	1.61	<0.01
尿磷 Urine P/（g/d）	0.13±0.01[ab]	0.12±0.01[a]	0.15±0.01[b]	0.01	0.03
磷的利用率 P utilization/%	0.40±0.02	0.47±0.02	0.44±0.03	0.02	0.17
总磷排放量 Total P excretion/（g/d）	55.77±2.83[a]	41.08±1.79[b]	46.79±1.92[b]	1.61	<0.01

2.5 不同饲粮组成对泌乳荷斯坦奶牛血液生化指标的影响

由表 6 可知，LPP 组与 CR 组间各项血液生化指标均无显著差异（*P*>0.05）；CA 组的血液 ALP 活性和磷含量显著高于 CR 组（*P*<0.05），其余指标无显著差异（*P*>0.05）。

表 6 不同饲粮组成对泌乳荷斯坦奶牛血液生化指标的影响

Table 6 Effects of different dietary compositions on blood biochemical parameters of lactating Holstein cows

项目 Items	组别 Groups			SEM	*P* 值 *P*-value
	CR	LPP	CA		
总胆固醇 TC/（mmol/L）	6.00±0.26	5.90±0.23	6.20±0.12	0.12	0.58
甘油三酯 TG/（mmol/L）	0.19±0.01	0.22±0.02	0.20±0.02	0.01	0.46
总蛋白 TP/（g/L）	67.48±2.13	65.49±1.78	70.70±1.35	1.06	0.13
白蛋白 ALB/（g/L）	26.84±0.91	26.98±0.87	28.50±0.57	0.46	0.28
球蛋白 GLB/（g/L）	40.64±1.41	38.51±1.28	42.20±0.95	0.73	0.12
谷丙转氨酶 ALT/（U/L）	29.98±1.30[a]	29.58±0.81[a]	35.25±1.60[b]	0.84	<0.01
磷 P/（mmol/L）	1.45±0.07[a]	1.38±0.09[a]	1.71±0.04[b]	0.05	<0.01
葡萄糖 GLU/（mmol/L）	3.52±0.10	3.48±0.04	3.52±0.10	0.05	0.94
尿素氮 UN/（mmol/L）	4.89±0.14	4.86±0.20	5.65±0.36	0.15	0.06
催乳素 PRL/（μIU/ml）	17.41±0.66	16.14±0.44	16.21±0.41	0.30	0.16
胰岛素 INS/（ng/ml）	11.65±0.54	11.54±0.72	11.06±0.54	0.34	0.77

3 讨 论

3.1 不同饲粮组成对泌乳荷斯坦奶牛生产性能的影响

畜禽排泄物是环境氮磷污染的重要来源，本试验利用降低饲粮氮磷水平的和添加复合添加剂 2 种营养措施来发掘奶牛养殖业中减少氮磷排放量的潜力。饲粮的配方是影响奶牛生产效益的重要因素，尤其饲粮氮水平与利用率直接反映到动物的生产性能上。但实际生产中饲粮供应的氮磷成分往往大于动物所需，过量的营养物质导致了资源浪费和环境污染，这样的结果往往是得不偿失。

翟少伟[9]研究表明，对于产奶量为 20.5~25.0 kg/d 的奶牛，饲粮粗蛋白质水平超过 14%后产奶量的变化幅度很小。Colmenero[10]研究表明，采用的粗蛋白质水平分别为 13.5%、

15.0%、16.5%、17.9%、19.4%饲粮饲喂产奶量为 38 kg/d 的奶牛时，粗蛋白质水平超过 16.5%时产奶量就不再上升。研究报道过高的饲氮水平并不会增加产奶量，并建议饲粮中最好使用较低水平的氮，既能满足生产需要，又降低氮磷排放量[11]。

Poppy 等[12]研究表明，使用酵母培养物使奶牛平均日产奶量增加 1.18 kg（范围 0.55~1.81 kg）。王玲等[13]研究表明，饲粮中分别添加 0.8%、1.0%、1.2%复合酵母培养物使奶牛产奶性能分别提高了 8.48%、10.05%、8.97%。酵母培养物可增加产奶量，改善乳品质，对产奶的持续性和饲料效益有益。给奶牛饲喂一定量的有机锌可使饲料转化率提高 4%以上，产奶量提高 5%~10%[14]。而本试验中，LPP 组中饲粮粗蛋白质水平从 16.20%降低到 15.48%，反而使产奶量提高 7.04%和饲料转化率提高 11.11%，这可能由于 2 方面原因，首先是甜菜粕替代部分 DDGS 的因素，因为甜菜粕的 peNDF 含量高于 DDGS，饲粮中的 peNDF 含量可为反刍动物提供大量能源，在适宜水平上可维持较高的产奶量，其次是 CR 组的饲粮粗蛋白质水平可能已经超过其所需水平。本试验中，在饲粮中补充了复合添加剂也使奶牛产奶量提高了 10.30%，饲料转化率提高了 13.89%，这可能是因为复合添加剂中含有的酵母和有机锌的功劳，酵母中含有生物活性小肽和氨基酸等成分对产奶量的提高起到了一定的作用，同时有机锌参与体内大量的酶促反应。

乳体细胞数可以反映乳房的健康程度和预测乳房炎的发病率。在本试验中，LPP 组和 CA 组的乳体细胞数都有所下降，表明了增加甜菜粕和复合添加剂可以提高奶牛乳房健康程度。LPP 组中甜菜粕替代部分 DDGS，而由于甜菜粕 peNDF 含量高，可刺激咀嚼和反刍，促进动物唾液分泌增加，从而间接提高瘤胃缓冲能力，维持其 pH，避免瘤胃酸中毒，使瘤胃保持健康，从而也会影响到乳房的健康。CA 组中的酵母具有提升免疫力的作用，包括抗炎能力及增强自然杀伤细胞活力[15]；有机锌的添加有利于乳头管上皮细胞的增殖，较多的上皮细胞层对于防护病原菌的入侵具有很好的屏障作用[16]。因此，本试验中甜菜粕含量增加和饲喂复合添加剂后有利于减少乳体细胞数，进而减少乳房炎的发病率。

3.2 不同饲粮组成对泌乳荷斯坦奶牛氮表观消化率和排放量的影响

粪氮主要是由内源蛋白质、小肠未消化的微生物蛋白质、未消化的饲料蛋白质和小肠脱落的上皮细胞组成。不同饲粮氮水平条件下粪氮排放量变化通常不大，主要因为增加饲粮氮水平能够导致尿氮排放量迅速增加，超过动物需要量的几乎所有的氮都是通过尿液排出体

外，而粪氮排放量相当稳定。Hynes等[17]研究发现，饲粮中粗蛋白质水平分别为14.1%、16.1%、18.1%时，尿氮排放量分别为193、208、231 g/d，3组间差异显著，而对粪氮排放量影响均不显著。在饲粮采食量接近的情况下，粗蛋白质水平差异在1.0%、1.6%，可对尿氮排放量产生显著影响，对粪氮排放量影响不显著[18-19]。

本试验中，LPP组的变化和Hynes等[17]、Eriksson等[18]报道的一致，饲粮氮水平有较小差异就显著影响尿氮排放量，对粪氮排放量影响不显著。本试验中，CR组、LPP组粪氮排放量几乎没有差异，而尿氮排放量分别为211.02、183.08 g/d，差异显著。这种差异其一说明CR组饲粮氮水平可能已高出奶牛的氮需要量；其二说明LPP组虽降低饲粮氮水平，但粗蛋白质的表观消化率比CR组提高了4.74%，可能是甜菜粕替代部分DDGS，使peNDF含量增加，对反刍动物的肠黏膜有一种刺激作用，可促进胃肠道的蠕动和粪便的排泄，从而促进了各种营养物质的消化，比如本试验中粗蛋白质、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维。

张兴夫等[20]总结出，长期以来使用营养调控剂是营养学和有关学科在减排方面的研究热点。但实践证明，单纯使用营养调控剂不会获得最佳效果，可将几种混合使用发挥其协同作用。王玲等[13]研究表明,在精料中分别添加0.8%、1.0%、1.2%复合酵母培养物，在总氮排放量上，分别比对照组降低8.47%、12.01%、9.36%。本试验就在此基础上尝试几种营养调控剂混合使用，探究是否能获得最佳的减排效果。CA组、CR组尿氮排放量分别为161.21、211.02 g/d，2组间差异显著，粪氮排放量差异较小，总氮排放量差异显著，氮的利用率提高了8.70%，减少了氮素向环境的排放。这可能由于复合添加剂中的酵母含有丰富的营养活性物质，能增加瘤胃内有益菌群的活性，更好地维持瘤胃液pH和厌氧环境，有利于提高饲粮中氮的利用率，减少氮的损失。还有有机锌的添加也可提高蛋白质饲料的利用率，不仅能节约蛋白质饲料资源，同时对降低环境污染和减少奶牛饲养成本具有重要的意义。

3.3 不同饲粮组成对泌乳荷斯坦奶牛磷表观消化率和排放量的影响

在满足奶牛营养需要的基础上，降低饲粮磷水平和利用酶制剂是提高磷利用效率的有力措施。其中采食磷主要受奶牛干物质采食量的影响，粪磷排放量与饲粮采食磷呈正比。张峰等[21]研究表明，饲粮磷从0.36%增加到0.54%时，粪磷的排放量从98.45 g/d增加到152.78 g/d。刘建新等[1]研究报道，饲粮磷水平从0.57%降低到0.37%后，在泌乳前期、中期和后期的粪磷排放量降低了35.65%~40.8%，尿磷排放量减少22.73%~41.03%。本试验中，LPP组饲粮

磷水平为 0.39%，较 CR 组降低了 0.03%，但粪磷排放量降低了 26.40%，尿磷排放量降低了 7.69%。磷排放量减少主要由于磷的表观消化率提高了，可能由于甜菜粕 peNDF 含量高，对反刍动物的肠黏膜有一种刺激作用，可促进胃肠道的蠕动和粪便的排泄，从而促进了各种营养物质的消化。

本试验中，CA 组总磷排放量显著低于 CR 组，可能由于其复合添加剂中含有酶制剂的原因，提高了磷的表观消化率和利用率。本试验结果同时也表明尿磷排放量甚微。

3.4　不同饲粮组成对泌乳荷斯坦奶牛血液生化指标的影响

通过血液生化指标测定可以间接了解家畜机体健康状况，另外，在使用添加剂等营养调控手段时会采用血液生化指标来反映畜禽的营养状况[22]，讨论营养调控手段是否会影响畜禽的生产性能和营养需要。

血液 TC 和 TG 是血脂的组成部分，血脂的含量可以反映体内脂类代谢的情况和饲粮能量水平的高低，本试验中，3 组间这 2 个指标差异不显著，说明降低氮磷和使用复合添加剂不影响奶牛的能量代谢水平。血液 ALB 和 GLB 是血浆蛋白的主要成分，TP 含量的升高是机体蛋白质代谢增强的必然反映。CA 组的血液 TP、GLB 都高于 CR 组，说明添加复合添加剂能增强机体的蛋白质代谢和提高机体免疫的功能。

ALT 是蛋白质代谢过程中的重要酶类，其活性的高低反映了蛋白质合成和分解代谢的状况[22]。奶牛血液 ALT 活性为 11.60~42.75 U/L[23]，本试验中，LPP 组与 CR 组间差异不显著，在报道的正常范围内；CA 组与 CR 组间差异显著，并较 CR 组提高了 17.58%，表明复合添加剂可能促进蛋白质、脂肪及糖的转化。奶牛血液中矿物质元素含量一般比较稳定，磷（P）含量正常值范围在 0.9~2.3 mmol/L[24]，本试验都在正常范围值内，但 CA 组显著高于 CR 组，可能由于复合添加剂中含有酶制剂，增强了饲粮中磷的代谢。

血液 UN 可以间接反映机体对饲粮中氮的利用情况。本试验中，LPP 组的血液 UN 含量与 CR 组间差异不显著，说明饲粮氮水平降低 0.70%并不影响氮的代谢情况。CA 组的血液 UN 含量高于 CR 组，提高了 15.54%，UN 含量升高，可能意味着复合添加剂的使用导致机体蛋白质分解作用增强或肝脏的尿素再循环程度增强，这可能要归因于饲粮中的氮水平高于需要，并且复合添加剂的使用导致了饲粮中氮的分解能力加强，从而使血清中 UN 含量升高。

4　结　论

① 饲粮氮、磷水平分别减少 0.70%、0.03%，同时增加甜菜粕的用量，导致饲粮 peNDF 含量增加，最终总氮、总磷排放量分别减少 9.11%和 26.34%。

② 使用复合添加剂提高了饲料利用率，总氮、总磷排放量分别减少 16.35%和 16.10%。

③降低饲粮氮磷水平、使用复合添加剂均可保证泌乳奶牛正常的生长与生产，可减少氮磷排放量，降低畜禽对环境的污染，是减少奶牛养殖过程中氮磷排放量的有效手段以及减轻环境污染的有效途径。

参考文献：

[1] 刘建新,李珊珊,张彬,等.改善奶牛氮磷利用效率的营养策略[J].动物营养学报,2014,26(10):3129–3134.

[2] 付春丽,王瑞宁,傅彤,等.降低奶牛氮排放的营养调控措施[J].家畜生态学报,2012,33(4):96–101.

[3] 柏兆海.我国主要畜禽养殖体系资源需求、氮磷利用和损失研究[D].博士学位论文.北京:中国农业大学 2015.

[4] 王笑笑,李若玺,梅洋,等.影响反刍动物氮素利用效率和排放的营养实践[J].动物营养学报,2016,28(10):3042–3050.

[5] 红敏,赵瑞霞,高民,等.不同饲养模式下乳牛粪尿中氮磷排放量的研究[J].饲料工业,2012,33(11):48–51.

[6] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2 版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[7] MERTENS D R.Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1997,80(7):1463–1481.

[8] 李国林.规模化奶牛场产排污系数、污水存贮及土地消纳量相关技术参数研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2014.

[9] 翟少伟.日粮蛋白质摄入量对泌乳奶牛氮排泄量的影响[J].中国奶牛,2009(8):56–59.

[10] COLMENERO J J O,BRODERICK G A.Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2006,89(5):1704–1712.

[11] WANG C,LIU J X,YUAN Z P,et al.Effect of level of metabolizable protein on milk production

and nitrogen utilization in lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2007,90(6):2960–2965.

[12] POPPY G D,RABIEE A R,LEAN I J,et al.A meta-analysis of the effects of feeding yeast culture produced by anaerobic fermentation of Saccharomyces cerevisiae on milk production of lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2012,95(10):6027–6041.

[13] 王玲,吕永艳,程志伟,等.复合酵母培养物对奶牛产奶性能、氮排放及血液生化指标的影响[J].草业学报,2015,24(12):121–130.

[14] 吴淑军,张亚伟,姚亚军.有机锌在奶牛上的应用研究[J].饲料广角,2017(8):29–30.

[15] JENSEN G S,PATTERSON K M,YOON I.Yeast culture has anti-inflammatory effects and specifically activates NK cells[J].Comparative Immunology,Microbiology and Infectious Diseases,2008,31(6):487–500.

[16] GAAFAR H M A,BASIUONI M I,ALI M F E,et al.Effect of zinc methionine supplementation on somatic cell count in milk and mastitis in Friesian cows[J].ArchivaZootechnica,2010,13(2):36–46.

[17] HYNES D N,STERGIADIS S,GORDON A,et al.Effects of crude protein level in concentrate supplements on animal performance and nitrogen utilization of lactating dairy cows fed fresh-cut perennial grass[J].Journal of Dairy Science,2016,99(10):8111–8120.

[18] ERIKSSON T,MURPHY M,CISZUK P,et al.Nitrogen balance,microbial protein production,and milk production in dairy cows fed fodder beets and potatoes,or barley[J].Journal of Dairy Science,2004,87(4):1057–1070.

[19] REYNAL S M,BRODERICK G A.Effect of dietary level of rumen-degraded protein on production and nitrogen metabolism in lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2005,88(11):4045–4064.

[20] 张兴夫,高民.降低奶牛养殖对环境污染的营养调控关键技术[J].中国畜牧杂志,2016(20):35–39.

[21] 张峰,邱伟,刘小静,等.日粮磷水平对泌乳奶牛生产性能及磷表观消化率的影响[J].天津农业科学,2013,19(3):38–42.

[22] 周玉香,吕玉玲,王洁,等.血液生化指标在动物生产与营养调控研究中的应用概况[J].畜牧与饲料科学,2012,33(Z1):72–74.

[23] 肖玲,傅小平,季节,等.上海地区荷斯坦成乳牛部分血清生化指标常值研究[J].乳业科学与技术,2003,26(3):132–134.

[24] 李新萍,陶岳,张孝恩,等.新疆石河子地区奶牛血液生化指标正常参考值范围的建立[J].中国奶牛,2011(18):47–50.

Effects of Different Dietary Compositions on Production Performance, Blood Biochemical Parameters, and Nitrogen and Phosphorus Emissions of Lactating Holstein Cows

ZHAO Ruohan LI Lian HAN Zhaoyu YANG Fangxiao WANG Genlin*

(*College of Animal Science and Technology*, *Nanjing Agricultural University*, *Nanjing* 210095, *China*)

Abstract: In order to control emissions of nitrogen and phosphorus in feces and urine of dairy cows without effects on production performance, this study investigate the effects of reduction of dietary nitrogen and phosphorus or using compound additives on production performance, blood biochemical parameters, and nitrogen and phosphorus emissions of lactating Holstein cows. Thirty-six lactating Holstein cows were randomly selected and divided into 3 groups with 12 cows per group. Cows in control (CR) group were fed the original diet in farm, those in low protein and phosphorus group (LPP) group were fed an experimental diet which had 0.70% and 0.03% lower protein and phosphorus than the original diet in farm, and those in compound additive group (CA) group were fed the original diet in farm and compound additives (composed of active yeast, enzyme preparation and organic zinc). The pre-test lasted for 7 d, and the formal test lasted for 30 d. The results showed as follows: there were no significant differences of milk yield, dry matter intake and milk composition (P>0.05); compared with CR group, apparent digestibility of acid detergent fiber and phosphorus were increased by 73.12% and 42.94%（P<0.05）, respectively; compared with CR group, emissions of total nitrogen and total phosphorus in LPP group were decreased by 9.11% and 26.34% (P<0.05), respectively, and those in CA group were decreased by 16.35% and 16.10% (P<0.05), respectively; blood aspartate aminotransferase （ALT） activity and phosphorus content in CA group were significantly higher than those in CR group

*Corresponding author, professor, E-mail: glwang@njau.edu.cn（责任编辑 王智航）

（ $P<0.05$ ）, while blood biochemical parameters in CR group and LPP group were not significantly different （$P>0.05$）. Under the condition of normal nutritional requirements are satisfied, appropriately controlling nitrogen and phosphorus intakes of cows, or using the compound additives can reduce the emission of nitrogen and phosphorus.

Key words: lactating Holstein cows; milk performance; blood biochemical parameters; nitrogen and phosphorus emissions